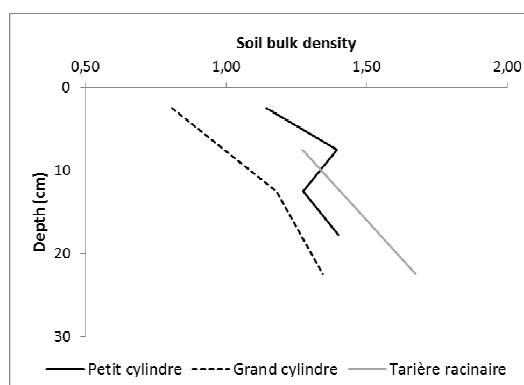


Appui pédologique au projet Imbalance-P
Diagnostic des sols de Paracou, Mesure de la densité apparente
Mission en Guyane, 19 mai au 2 juin 2015



Vincent Freycon
26 août 2016

Résumé

Ce rapport synthétise l'appui que j'ai apporté au projet Imbalance-P durant 6 jours de terrain avec C. Stahl, lors d'une mission effectuée en Guyane du 19 mai au 2 juin 2015 (Annexe 1).

Dans un premier temps, nous avons caractérisé les sols des 9 parcelles Imbalance-P de Paracou, en effectuant 9 sondages tarière et en les rattachant à une classe de drainage suivant la classification des sols de Guyane (Sabatier et al. 1997). Ces 9 parcelles avaient été installées par le projet Imbalance-P en fonction de la topographie : 3 parcelles en haut de versant (T1, T2, T3), 3 parcelles sur pentes (S1, S2, S3) et 3 parcelles en bas de versant (B1, B2, B3). Nous avons finalement classé les 9 parcelles dans 5 classes de drainages (i) Drainage vertical ralenti (Alt) pour T1 ; (ii) Drainage latéral superficiel (SLD) pour S3, S1, S2, T3 ; (iii) Système hydromorphe amont (UHS) pour T2 ; (iv) Système hydromorphe aval (DhS) pour B1 et B2 ; (v) et Hydromorphie de surface (SH) pour B3. Ce classement montre que la stratification en fonction de la topographie ne discrimine pas parfaitement les sols suivant leur classe de drainage. Il montre aussi que l'on a des sols assez homogènes pour les parcelles de pente et de bas de versant alors qu'ils sont hétérogènes au sein des parcelles de haut de versant. Dans deux de ces parcelles de haut de versant, nous avons observé des « djougouns pétés » (Blancaneaux 1973), des dépressions locales qui sont associées à la formation de nappes perchées en saison des pluies. Nous avons aussi trouvé du charbon de bois dans 3 des 9 sondages tarière. Comme le charbon de bois peut influencer certains paramètres du sol (ex. azote, Steiner *et al.* 2008), nous recommandons alors que sa présence soit notée lors des futurs prélèvements de sol.

Dans un deuxième temps, nous avons testé sur le terrain différentes méthodes de mesure de la densité apparente d'un sol entre 0 et 30 cm, en utilisant un petit cylindre, un grand cylindre et une tarière racinaire, respectivement d'un volume de 100, 250 et 750 cm³. Nous avons trouvé que les valeurs de densité apparente à partir du petit cylindre étaient variables, certainement à cause de l'hétérogénéité spatiale des éléments grossiers dans le sol. De plus, ces valeurs semblent être surestimées probablement à cause du tassement de la terre dans le cylindre. Au contraire, les valeurs à partir de la tarière racinaire étaient homogènes. Par contre, utiliser la tarière racinaire dans les sols sableux de bas de versant a été peu efficace, puisque nous avons rarement réussi à remonter du sol compris entre 15 et 30 cm de profondeur.

Summary

This report summarizes the support I provided for the Imbalance-P project during six days of field work in Paracou, French Guiana with Clément Stahl in May 2015 (Appendix 1).

Firstly, we characterized the drainage class of soils (Sabatier *et al.* 1997) in the nine Imbalance-P plots using nine soil augers: three at the top of a slope (T1, T2, T3), three midslope (S1, S2, S3) and three at the bottom of a slope (B1, B2, B3). We classed these nine plots in five drainage classes: (i) Slowed vertical drainage (Alt) for T1; (ii) Superficial lateral drainage (SLD) for S3, S1, S2, T3; (iii) Uphill system (UhS) for T2; (iv) Downhill system (DhS) for B1 and B2; (v) Surface hydromorphy (SH) for B3. Consequently, the stratification based on topography did not perfectly discriminate between the soils based on their drainage class. We found depressions in the soil of two top plots, called “djougoung pétés” (Blancaneaux 1973). The stagnant water in these depressions during the rainy season indicated a water table close to the topographic surface. We also found charcoal in 3 of the 9 soil augers. We recommend noting its presence in future soil samples, as charcoal may influence some soil parameters (e.g. nitrogen, Steiner *et al.* 2008).

Secondly, we tested different methods in order to measure soil bulk density between a depth of 0 and 30 cm: a small cylinder, a large cylinder and a root auger, with a volume of 100, 250 and 750 cm³, respectively. We found that the bulk density values from the small cylinder were variable, undoubtedly because of the spatial heterogeneity of coarse fragments in the soils. Moreover, these values appeared to be overestimated, probably because of soil compaction in the cylinder. Conversely, the values from the root auger were homogeneous. However, using a root auger in the sandy soil of bottom plots was not effective, as we rarely succeeded in sampling soil at a depth of 15-30 cm.

Contexte et objectif

Le phosphore (P) est en quantité finie à l'échelle du globe, au contraire d'autres éléments tels le carbone (C) et l'azote (N). Élément majeur des organismes vivants, il est considéré comme un facteur limitant dans de nombreux écosystèmes dès que les sols sont âgés (Chadwick et al. 1999, Richardson et al. 2004).

Le projet Imbalance-P a comme objectif de mieux comprendre et de quantifier la limitation du P dans différents écosystèmes boréaux, tempérés et tropicaux : <http://imbalancep-erc.creaf.cat/>. En Guyane, ce projet mène une expérience de fertilisation (4 modalités : témoin, N, P, NP) de la forêt naturelle dans deux sites, Paracou et Les Nouragues, pour mesurer l'influence de la fertilisation sur les sols et la dynamique forestière. Dans chaque site, cette expérience est répétée au sein de 9 parcelles de 0,25 ha (= 50 m x 50 m), la combinaison de trois positions topographiques (top, slope, bottom) et de trois répétitions.

Nous avons apporté un appui pédologique de 6 jours au projet Imbalance-P lors d'une mission effectuée du 19 mai au 2 juin 2015 en Guyane (**Annexe 1**). Les 9 parcelles de Paracou avaient déjà été installées avant cette mission tandis que les 9 parcelles des Nouragues ont été installées après.

L'objectif de ce document est de restituer l'appui que j'ai apporté au projet Imbalance-P lors de cette mission. Cet appui a principalement consisté à diagnostiquer les sols des 9 parcelles Imbalance-P de Paracou (**Chapitre 1**) et à tester sur le terrain la mesure de la densité apparente d'un sol (« soil bulk density » en anglais) (**Chapitre 2**).

Je remercie Josep Peñuelas (CREAF-CSIC, co-responsable du projet Imbalance-P) pour avoir accepté de financer cet appui en pédologie. Merci aussi à Clément Stahl (Antwerp University) pour avoir organisé la logistique du terrain et pour avoir effectué le terrain à Paracou ensemble. Merci enfin à l'équipe du projet Imbalance-P qui était présente lors de ma mission, notamment à Clément Stahl, Léandro Van Langenhove (Antwerp University), Ifigenia Urbina et Oriol Grau (CEAF-CSIC) pour les discussions scientifiques sur le fonctionnement du sol et ses relations avec la forêt.

Chapitre 1

Diagnostic des sols des 9 parcelles Imbalance-P de Paracou

1. Contexte

Avant notre mission, C. Stahl et O. Grau avaient déjà installé à Paracou les 9 parcelles de 0,25 ha (= 50 m x 50 m), autour de la parcelle témoin P15 du dispositif du Cirad (Fig. 1).

Lors de notre mission, nous avons caractérisé les sols de ces 9 parcelles, en nous appuyant sur les études géomorphologiques et pédologiques déjà réalisées à Paracou (Le-Fol 2002, Malherbe 2002, Soucémarianadin 2004, Weigel 2006, Roelens 2007).

2. Matériel et Méthodes

Au préalable, nous avons présenté quatre profils de référence (F3, F5, F6, F7) le long d'une toposéquence proche de la parcelle P15 (Fig. 1, Annexe 2) qui correspondent aux principaux types de sols trouvés à Paracou. Ces types de sol sont associés à une classe de drainage, d'après la classification locale des sols guyanais (Boulet 1990, Grimaldi *et al.* 1996, Sabatier *et al.* 1997) qui distingue 6 classes de drainage : DVL (= Drainage vertical libre), Alt (= Drainage vertical ralenti), DLS (= Drainage latéral superficiel), Sav (=Système hydromorphe aval), Sam (= Système hydromorphe amont) et SH (= Système hydromorphe de bas-fonds). Plus précisément, les profils F3, F5, F6 et F7 sont respectivement rattachés aux classes de drainage Alt, DLS, Sav et SH.

Nous avons étudié les 9 parcelles T1, T2, T3, S1, S2, S3, B1, B2 et B3, qui avaient été installées dans trois positions topographiques : haut de versant (T=Top), pente (S=Slope) et bas de versant (B=Bottom). Pour chaque parcelle, nous avons effectué un sondage tarière jusqu'à 1m20 de profondeur, à l'intérieur du carré central (= 20 m x 20m) pour les parcelles B1, B2 et B3, et à l'extérieur du carré central pour les parcelles T1, T2, T3, S1, S2 et S3. Comme au sein d'une parcelle, la topographie était assez homogène, nous avons supposé que la variabilité des sols à l'intérieur d'une parcelle était faible. Pour chaque gamme de profondeur, 0-10 cm, 10-20 cm, etc. nous avons décrit différents critères du sol (humidité, texture, couleur, tache, éléments grossiers, racines) et gardé un échantillon dans un pédocomparateur. Cette description nous a permis de rattacher chaque sondage à une classe de drainage (Sabatier *et al.* 1997).

3. Résultats

Les 3 groupes de parcelles différenciées par la topographie et l'altitude ; quelques parcelles avec un micromodelé particulier (Tab. 1, Tab. 2)

Les 3 groupes de parcelles sont sur des positions topographiques et à des altitudes différentes : T1, T2, T3 sur sommet d'interfluve et haut de versant, à une altitude de 50 m ; S1, S2, S3 sur haut-versant à mi-versant, à une altitude de 43 m ; B1, B2, B3 en bas de versant parfois à la limite de bas-fonds, à une altitude de 35 m.

Certaines parcelles présentent un micro modelé local particulier. En effet, T2 et T3 possèdent des dépressions généralement circulaires, métriques et de quelques dizaines de centimètres de profondeur (Fig. 2) appelées djougoung-pétés par Blancanau (1973). Notons que ces djougoung pétés étaient remplis d'eau 24h après une pluie puis non remplis d'eau 72h après. De plus, S2 possède des buttes qui suggèrent un processus de reptation du sol ou la trace d'anciens chablis. Enfin S3 possède une succession de croupes et de creux de direction parallèle à la ligne de plus grande pente.

Quant aux pentes, elles sont faibles pour les parcelles T1, T2, T3, B1, B2 et B3 (5 à 15%) tandis qu'elles sont moyennes pour les parcelles S1, S2 et S3 (40 à 45%).

Rattachement des sondages à une classe de drainage et classement suivant un gradient d'hydromorphie

Pour chaque sondage, l'Annexe 3 synthétise sa description naturaliste, ce qui nous a permis de le rattacher à une classe de drainage (Tab. 2, Fig. 3), et finalement à classer les 9 parcelles en fonction d'un gradient d'hydromorphie (faible → élevé) dans l'ordre suivant :

(Alt) T1 → (SLD) S3, S1, S2, T3 → (UhS) T2 → (DhS) B1, B2 → (SH) B3.

Des sols pas toujours similaires au sein d'une même position topographique

Il apparaît alors que :

- Les 3 parcelles de haut de versant (T1, T2, T3) n'ont pas des sols homogènes puisque nous les avons rattachées à trois classes différentes de drainage, respectivement Alt, UhS et SLD.
- Les 3 parcelles de mi-versant (S1, S2, S3) ont des sols homogènes puisque nous les avons tous rattachés à la même classe de drainage SLD. Notons que le sondage S3 se distingue légèrement des deux autres par l'apparition d'un toucher limoneux et sec à plus grande profondeur (100 cm vs 60 cm).
- Les 3 parcelles de bas de versant (B1, B2, B3) n'ont pas des sols homogènes puisque nous les avons rattachées à deux classes de drainage, DhS et SH.

Comparaison entre les sols des 3 positions topographiques.

Les 3 parcelles de bas de versant (B1, B2, B3), qui ont des sols avec une hydromorphie temporaire (DhS) ou quasi-permanente (SH), se distinguent bien des 3 parcelles de pente (S1, S2, S3) qui ont des sols à drainage latéral superficiel (SLD), sans hydromorphie.

Par contre, les 3 parcelles de haut de versant qui ont des sols hétérogènes, ont, suivant les cas, des caractéristiques différentes (T1) ou au contraire similaires aux sols de pentes (T3=S2, S1, S3) ou aux sols de bas de versant (T2 ≈ B1, B2).

Charbons de bois

Nous avons observé des charbons de bois dans 3 des 9 sondages, qui se trouvaient dans des parcelles de haut (T3) ou de pente (S1, S3).

4. Discussion

Correspondance imparfaite entre topographie et sols

Les neuf parcelles de Paracou du projet Imbalance-P ont été installées sur des positions topographiques différentes : haut de versant, pente et bas de versant afin de contrôler la variabilité des sols et de mener les expériences de fertilisation sur différents types de sol.

Mais notre diagnostic a conduit à classer les sols des 9 parcelles suivant un gradient d'hydromorphie qui ne correspond pas parfaitement à la stratification topographique : (Alt) T1 → (SLD) S3, S1, S2, T3 → (UhS) T2 → (DhS) B1, B2 → (SH) B3

Par conséquent, dans les futures études du projet Imbalance-P, il sera pertinent d'utiliser la stratification topographique pour comparer les parcelles entre pente et bas de versant. Par contre, il ne sera pas pertinent de comparer les parcelles entre haut de versant et pente ou bas de versant. En effet, la variabilité des sols des parcelles de haut de versant risque d'être grande par rapport à la variabilité des sols entre haut de versant et une autre position topographique.

A la vue de la relation a posteriori entre l'altitude SRTM et les différentes classes de drainage (Fig. 4), il aurait fallu installer les 3 parcelles de haut de versant à une altitude SRTM d'au moins 53 m, c'est à dire appartenant tous à la classe de drainage Alt. A une altitude plus basse et sur des pentes faibles < 10%, la probabilité était forte de rencontrer des djougouns pétés qui sont associés à des sols à système hydromorphe amont (Blancaneaux 1973, Fritsch *et al.* 1986).

Charbons de bois dans les sols et ses conséquences

Avoir trouvé des charbons de bois dans 3 des 9 sondages est cohérent avec ce que nous avons observé lors de la cartographie des sols de Paracou. En effet, la présence de charbons de bois n'était pas rare (Weigel 2006). Comme conséquence, la présence de charbons de bois dans le sol peut augmenter la rétention de certains paramètres du sol (ex. azote : Steiner *et al.* 2008), voire aussi peut-être créer un biais pour mesurer le phosphore disponible pour les plantes. Nous conseillons alors que soit notée systématiquement la présence ou l'absence de charbons de bois lors de prélèvements de sols en vue d'analyses au sein du projet Imbalance-P. Des valeurs « aberrantes » pourraient alors peut-être s'expliquer par la présence de ces charbons de bois.

Tableau 1 : Caractéristiques générales des parcelles Imbalance-P

Le cœur de la parcelle correspond au carré central de 20 m x 20 m.

Position topo : SI= sommet d'interfluve ; HV=Haut de versant ; MiV=Mi-versant ; BV=Bas de versant ; BF=Bas-fonds

Parcelle	Position Topo	Pente au cœur (%)	Modelé local
T1	SI à HV	13	
T2	HV	5	Nombreux djougouns pétés de 120 à 160 cm de diamètre et de 20 à 30 cm de profondeur. Djougouns pétés remplis d'eau juste après la pluie du 23&24 mai 2015 et secs 48h après cette pluie.
T3	SI, ligne de croupe	15	Quelques djougoung pétés en aval et en-dehors du cœur de la parcelle.
S1	MiV	-	
S2	HV à MiV	44	Modelé « chahuté » : reptation du sol ? ancien chablis ?
S3	HV à MiV	40	Succession de croupes et creux // à la pente
B1	BV	12	Rigoles d'érosion a priori actives lors des pluies
B2	BV	9	
B3	BV	10	Replat avant la crique

Tableau 2 : Sondages tarière associés aux parcelles Imbalance-P : environnement et rattachement à une classe de drainage suivant Sabatier *et al.* (1997). L'altitude est tirée d'une image SRTM à 30 m de résolution.

Sondage	Position Topo	Observations	Pente (%)	Altitude (m)	Classe de drainage
T1	HV		8	53	Alt
T2	HV	A proximité de djougoung pétés	6	46	UhS
T3	SI	Charbons de bois 0-20 cm	12	50	SLD
S1	MiV	Charbons de bois 30-40 cm	24	40	SLD
S2	HV		34	45	SLD
S3	HV	Charbons de bois 40-60 cm	37	45	SLD
B1	BV	Eau à 100 cm	12	37	DhS
B2	BV		9	32	DhS
B3	BV		10	35	SH

Tableau 3 : Caractéristiques des profils de référence F3, F5, F6 et F7 de Paracou

Profil	Position Topo	Observations	Pente (%)	Altitude (m)	Classe de drainage
F3	SI	Filon de pegmatite		55	Alt
F5	MiV			45	SLD
F6	BV			38	DhS
F7	BF			34	SH

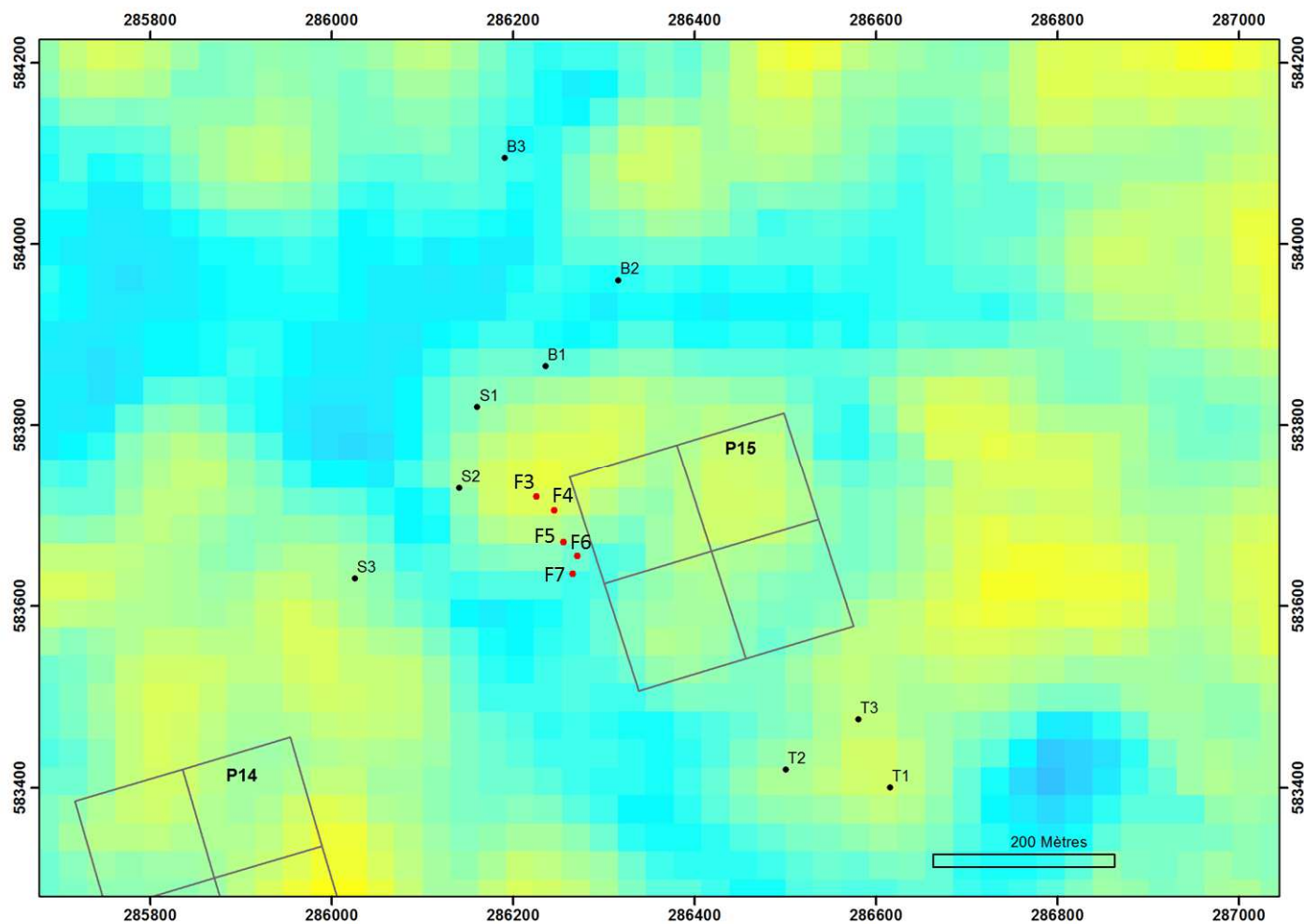


Figure 1 : Localisation des sondages effectués au sein des 9 parcelles Imbalance_P (T1, T2, T3, S1, S2, S3, B1, B2, B3).
 Ont été aussi localisés les parcelles P15 et P14 du dispositif de Paracou et 5 profils de référence (F3 à F7) le long d'une toposéquence.
 Le fonds est une image SRTM à 30 m de résolution.



Figure 2 : Rencontre d'un chercheur et d'un djougoung pété dans la parcelle T2
 Photo de gauche : C. Stahl et la tarière sont dans le djougoung pété ;
 Photo de droite : C. Stahl est en-dehors du djougoung pété et la tarière est dans le djougoung pété.



Figure 3 : Echantillons de sols prélevés à partir de sondages tarière des 9 parcelles Imbalance-P et de 4 profils de référence de Paracou (F3, F5, F6, F7), classés suivant la texture et la couleur de la matrice et des taches. Texture et couleurs sont précisées en Annexes 2 et 3.

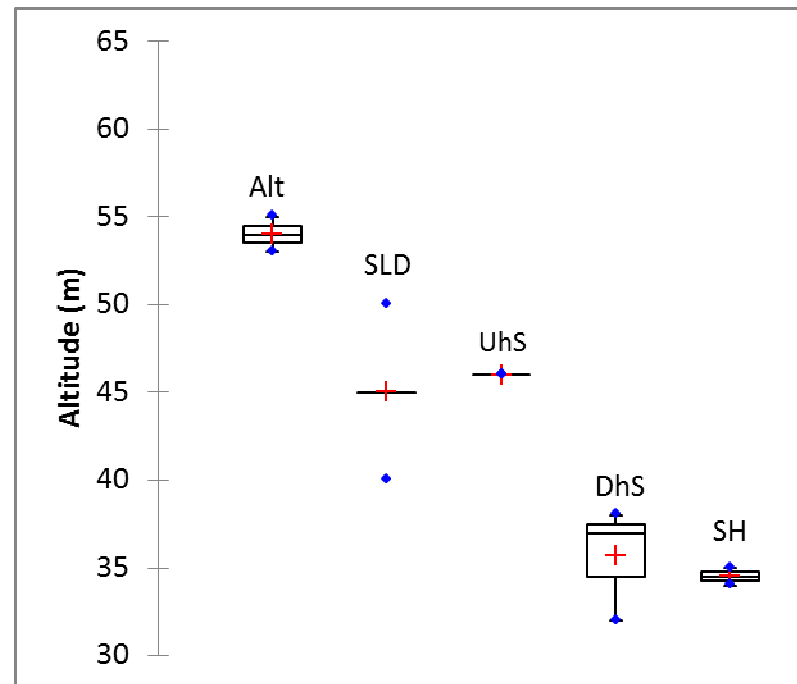


Figure 4 : Relation entre l'altitude et la classe de drainage (Sabatier *et al.* 1997) de sols de Paracou. L'altitude a été déduite d'une image SRTM à 30 m de résolution.

Relation tirée de l'étude de sols des 9 parcelles Imbalance-P et de 4 profils de référence (F3, F5, F6, F7).

Chapitre 2

Mesure sur le terrain de la densité apparente d'un sol

1. Contexte

Calculer le stock de carbone d'un sol (unité : kg C m^{-2} ou tC ha^{-1}) nécessite de connaître sa teneur en C (unité : %), son pourcentage en éléments grossiers et sa densité apparente (« soil bulk density » en anglais). Sur le terrain, la mesure de la densité apparente n'est pas toujours facile à réaliser en pratique. Comme C. Stahl n'avait jamais réalisé en pratique cette mesure, nous avons profité de notre mission pour mesurer sur le terrain quelques densités apparentes en utilisant des cylindres ou une tarière racinaire.

2. Matériel et Méthodes

Nous avons tout d'abord mesuré la densité apparente d'un sol forestier à proximité du layon qui mène à la parcelle P15 de Paracou. Nous avons mesuré la densité apparente à des profondeurs comprises entre 0 et 30 cm en utilisant trois types d'appareil, un petit cylindre de 100 cm^3 , un grand cylindre de 250 cm^3 et une tarière racinaire de 750 cm^3 qui permettent des mesures tous les 5 cm ou tous les 15 cm (Tab. 4). Nous avons finalement répété cette mesure 16 fois. Les échantillons ont été séchés à l'étuve durant 36 h (échantillons 1 à 13) ou 24h (échantillons 14 à 16) puis pesés, ce qui nous a permis de calculer la densité apparente pour chacun des 16 échantillons. Cette expérience nous a conduit à privilégier l'utilisation de la tarière racinaire qui apparaît comme la méthode avec le meilleur rapport qualité/durée de la mesure. Nous avons ensuite mesuré la densité apparente de 3 parcelles Imbalance-P de Paracou (T1, B1, B2) en utilisant la tarière racinaire.

3. Résultats

Comparaison de méthodes de mesure de la densité apparente

La densité apparente varie entre 0,81 et $1,71 \text{ g cm}^{-3}$ (Tab. 5). Elle augmente en moyenne avec la profondeur (Fig. 5).

Pour l'un des 4 prélèvements à la tarière racinaire à 0-15 cm, une mesure mal réalisée (une partie de la terre non remontée) a conduit à un écart net : $1,03 \text{ g cm}^{-3}$ vs valeurs comprises entre 1,25 et $1,28 \text{ g cm}^{-3}$.

Pour les 15 mesures qui ont été apparemment bien réalisées, la variabilité est faible avec la tarière racinaire et peut être élevée pour le petit cylindre, par exemple des valeurs comprises entre 1,05 et $1,30 \text{ g cm}^{-3}$ à 0-5 cm. Un nombre insuffisant de répétitions ne nous a pas permis de connaître la variabilité avec le grand cylindre.

Enfin, la mesure de la densité apparente avec le petit cylindre conduit à des valeurs moyennes plus élevées que celles avec le grand cylindre (Fig. 5).

Mesures de la densité apparente avec une tarière racinaire dans 3 parcelles Imbalance-P

En pratique, cette mesure a été réalisée rapidement dans la parcelle de haut de versant T1, à 0-15 cm et 15-30 cm, et dans les deux parcelles de bas de versant B1 et B2, à 0-15 cm. Par contre, cette mesure a été très compliquée dans ces deux parcelles de bas de versant à 15-30 cm. En effet, la tarière racinaire remontait à vide après avoir été enfoncée jusqu'à 30 cm dans un sol très sableux et avec très peu de racines.

4. Discussion

Bien que nous ayons effectué peu de répétitions, nous avons observé que la densité apparente augmente en moyenne entre l'horizon de surface et 30 cm de profondeur, ce qui est un résultat classique. En effet, il est connu que la densité apparente est corrélée négativement avec la teneur en carbone organique du sol (Bernoux et al. 1998, Minasny & Hartemink 2011, Yi et

al. 2016), cette dernière étant la plus élevée dans l'horizon de surface et diminuant avec la profondeur (Jobbagy & Jackson 2001).

La variabilité de la densité apparente du sol en utilisant le petit cylindre s'explique certainement par la présence ou l'absence d'éléments grossiers suivant les répétitions. En conséquence, il est nécessaire d'associer à cette mesure une information sur le pourcentage d'éléments grossiers.

Nous avons aussi observé pour la tranche 0-5 cm des valeurs moyennes plus élevées en utilisant le petit cylindre ($1,14 \text{ g cm}^{-3}$) par rapport au grand cylindre ($0,81 \text{ g cm}^{-3}$). Ceci suggère qu'une partie non négligeable de terre du volume échantillonné est tassée lorsqu'on enfonce le petit cylindre dans le sol.

Enfin, en pratique, nous avons rencontré des difficultés pour prélever avec une tarière racinaire des sols sableux de bas de versant à 15-30 cm. C'est une limite forte de cette méthode. Pour ce type de sol, il faut alors utiliser un cylindre, ce qui nécessite au préalable d'ouvrir une tranchée ou une petite fosse.

Tableau 4 : Caractéristiques des cylindres utilisés pour mesurer la densité apparente

Méthode	Diamètre	Hauteur	Volume théorique	Volume retenu
	(cm)	(cm)	(cm ³)	(cm ³)
Petit cylindre	5	5	98	100
Grand cylindre	8	5	251	250
Tarière racinaire	8	15	754	750

Tableau 5 : Valeurs de 16 densités apparentes entre 0 et 30 cm de profondeur, en fonction de la méthode utilisée.

Id Ech.	Méthode	Rép.	Prof. min	Prof. max	bd soil	Commentaires
11	Petit cylindre	1	0	5	1,08	
12	Petit cylindre	2	0	5	1,05	
13	Petit cylindre	3	0	5	1,30	
2	Grand cylindre	1	0	5	0,81	
3	Grand cylindre	2	0	5	0,81	
16	Petit cylindre	1	5	10	1,39	
4	Petit cylindre	1	10	15	1,27	
14	Grand cylindre	1	10	15	1,18	
15	Petit cylindre	1	15	20	1,40	
5	Grand cylindre	1	20	25	1,34	
1	Tarière racinaire	1	0	15	1,03	Remontée incomplète de la terre
6	Tarière racinaire	2	0	15	1,25	
8	Tarière racinaire	3	0	15	1,28	
10	Tarière racinaire	4	0	15	1,28	
7	Tarière racinaire	1	15	30	1,71	
9	Tarière racinaire	2	15	30	1,64	

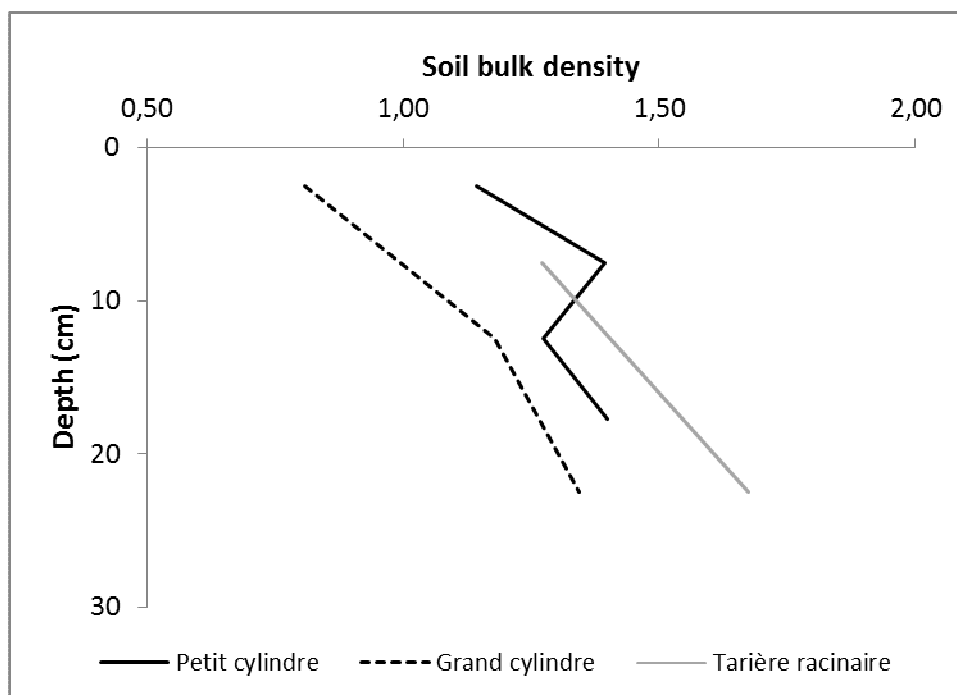


Figure 5 : Variation de la densité apparente en fonction de la profondeur et de la méthode utilisée

BIBLIOGRAPHIE

- Bernoux, M., Arrouays, D., Cerri, C., Volkoff, B. and Jolivet, C. 1998. Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties. *Soil Science Society American Journal*, **62**, 743-749.
- Blancaneaux, P. 1973. Notes de pédologie guyanaise. Les Djougoung-Pété du bassin-versant expérimental de la crique Grégoire (Sinnamary - Guyane Française). *Cah. ORSTOM, série Pédol.* **XI**, 29-42.
- Boulet, R. 1990. Organisation des couvertures pédologiques des bassins versants ECEREX. Hypothèses sur leur dynamique. In J. M. Sarrailh, editor. Mise en valeur de l'écosystème forestier guyanais. Opération ECEREX. INRA, CTFT, Paris, Nogent-sur-Marne. pp. 15-45
- Chadwick, O. A., Derry, L. A., Vitousek, P. M., Huebert, B. J., and Hedin, L. O. (1999). Changing sources of nutrients during four million years of ecosystem development. *Nature*, **397**, 491-497.
- Fritsch, E., Bocquier, G., Boulet, R., Dosso, M. and Humbel, F.-X., 1986. Les systèmes transformants d'une couverture ferrallitique de Guyane française. Analyse structurale d'une formation supergène et mode de représentation. *Cah. ORSTOM, série Pédol.*, **XXII**, 361-395.
- Grimaldi, M., Sabatier, D., Grimaldi, C. and Prévost, M.-F., 1996. Composante climatique de la transformation d'une couverture pédologique et des relations sol-végétation en Guyane. In: M. Servant and S. Servant-Vildary (Editors), Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux, Paris, pp. 159-168.
- Jobbagy, E.G., and Jackson, R.B. 2001. The distribution of soil nutrients with depth: Global patterns and the imprint of plants. *Biogeochemistry*, **53**, 51-77.
- Le-Fol, J. 2002 Etude géomorphologique des sites de Paracou, Crique Plomb, Piste de St Elie. Université Toulouse II Le Mirail, Toulouse. 123 p.
- Malherbe, M. 2002. Etude géomorphologique et pédologique du dispositif de Paracou (Guyane française). Université Bordeaux III Michel de Montaigne, Bordeaux. 62 p.
- Minasny, B. and Hartemink, A.E. 2011. Predicting soil properties in the tropics. *Earth-Science Reviews*, **106**, 52-62
- Richardson, S. J., Peltzer, D. A., Allen, R. B., McGlone, M. S., and Parfitt, R. L. (2004). Rapid development of phosphorus limitation in temperate rainforest along the Franz Josef soil chronosequence. *Oecologia*, **139**, 267-276.
- Roelens, J-B. 2007. Cartographie pédologique de six parcelles exploitées. Dispositif expérimental de Paracou, Guyane française. Rapport d'activités. CIRAD/Umr ECOFOG, Kourou. 25 p.
- Sabatier, D., Grimaldi, M., Prévost, M-F., Guillaume, J., Godron, M., Dosso, M. and Curmi, P. 1997. The influence of soil cover organization on the floristic and structural heterogeneity of a Guianan rain forest. *Plant Ecology* **131**, 81-108.

Steiner, C., Glaser, B., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Blum, W.E.H., and Zech, W. 2008. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, **171**, 893–899

Soucémariadin, L. 2004. Recherche de critères du sol influençant la structure et la composition floristique d'une forêt tropicale humide (Paracou, Guyane française). Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, Rennes. 51 p.

Weigel, J. 2006. Cartographie pédologique de quatre parcelles témoin. Dispositif de Paracou, Guyane française. ENGREF/Umr ECOFOG, Kourou. 31 p.

Yi, X., Li, G. and Yin, Y. 2016. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density: A case study in the Three-River headwater region of Qinghai Province, China. *Pedosphere*, **26**, 362-373.

**Annexe 1 – Calendrier d’une mission de V. Freycon en Guyane
19 mai au 2 juin 2015**

Jour	Matin	Après-midi
Mardi 19 mai	Voyage Montpellier-Paris-Cayenne	
Mercredi 20 mai	Projet Carpagg : Terrain	
Jeudi 21 mai		
Vendredi 22 mai	Rafraichissement des fosses 3, 5, 6 et 7 de Paracou	Projet FEADER « Plantations » Réunion avec E. Nicolini
Samedi 23 mai		
Dimanche 24 mai	Projet Carpagg : Synthèse	
Lundi 25 mai	Présentation des fosses 3,5, 6 et 7 de Paracou à l’équipe CREAF	
Mardi 26 mai	Diagnostic des sols des parcelles B3, B2, B1, S1, S2, S3	
Mercredi 27 mai	Diagnostic des sols des parcelles T1, T2, T3 Mesures de la « bulk density » : test de la méthode du cylindre	
Jeudi 28 mai	Mesures de la « bulk density » : parcelle T1 Réunion avec O. Grau sur analyse de données Guyafor	
Vendredi 29 mai	Mesures de la « bulk density » : parcelles B3, B2	
Samedi 30 mai	Projet Carpagg : Terrain	
Dimanche 31 mai		
Lundi 1 juin	Restitution terrain	Voyage Cayenne-Paris
Mardi 2 juin	Voyage Paris-Montpellier	

Annexe 2 – Description de quatre profils de référence de Paracou (Tiré de Soucémarianadin 2004)

Profil : F3

Autre nom : Paracou Fosse 3 (Soucémarianadin 2004), Paracou3
(Desprez et al. 2010)

Localisation : Toposéquence II_1, à proximité de la parcelle 15

Coordonnées : WGS84, UTM 22N : x = 286225 m E ; y = 583720 m

Altitude : **A préciser**

Végétation : Forêt

Géologie : Série de Bonidoro (Barruol 1959) : représentée essentiellement par des schistes et plus rarement par des quartzites, amphibolites et migmatites.

Pluviosité : **A compléter**

Topographie : Sommet d'une colline, 0 m du sommet, pente à préciser (Malherbe 2002)

Présence d'une occupation amérindienne ancienne : A préciser

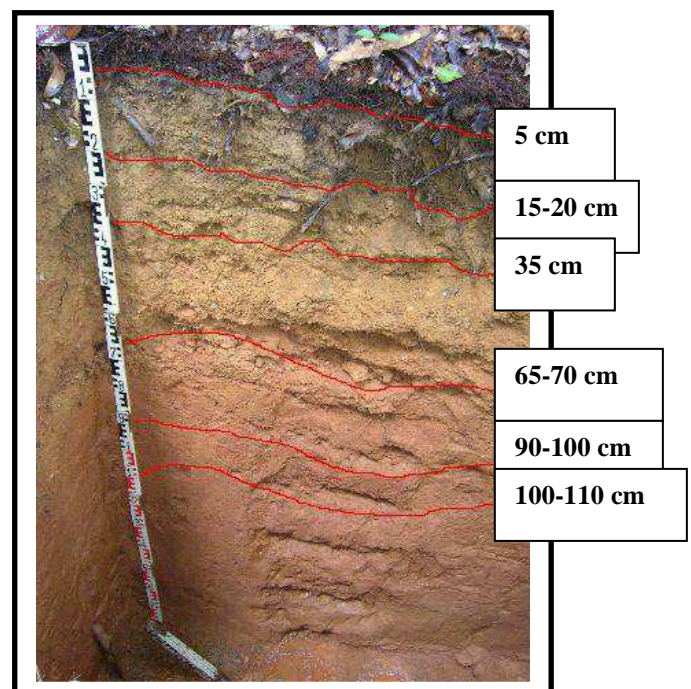
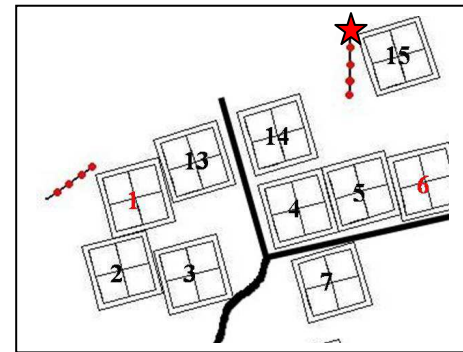
Ouverture de la fosse : 19 mars 2004 (Stage L. Soucémarianadin)

Description de la fosse : 29 avril 2004 (L. Soucémarianadin), pluie la veille ; fosse remplie de 50 cm d'eau

Profondeur de la fosse : 200 cm

Type de drainage : drainage vertical ralenti (Alt) traversé par un filon de pegmatite

Rattachement au WRB (2014) : ?



Horizon 1 : de 0 à 5 cm :

10YR4/3 (brown). Très humide. Texture **SA** avec sables moyens. Structure grumeleuse 2 mm modérée. Racines très fines et fines très nombreuses (mat racinaire) / moyennes et grosses peu nombreuses. Eléments grossiers absents. Transition 1 cm, régulière, contraste fort

Horizon 2 : de 5 à 15/20 cm

10YR4/4 (dark yellowish brown). Humide. Texture **SA** avec sables moyens. Structure grumeleuse 2mm modérée, à sur-structure polyédrique subanguleuse 10 mm modérée. Racines fines nombreuses / moyennes et grosses peu nombreuses et horizontales. Eléments grossiers absents. Transition 3 cm, ondulée, contraste faible

Horizon 3 : de 15/20 à 35 cm

10YR4/6 (dark yellowish brown) à 10YR5/6 (yellowish brown). Humide. Texture **SA** avec sables grossiers. Structure grumeleuse 2 mm modérée, à sur-structure polyédrique subanguleuse 10 mm modérée. Racines fines, moyennes et grosses peu nombreuses. Eléments grossiers 10%, arrondis, cailloux, Q saccharoïde/carié, orange (faciles à casser) / 2%, arrondis, graviers, lithoreliques ferruginisées violettes avec grains de Q [Faciès 3₁]. Transition 1 cm, irrégulière, contraste faible

Horizon 4 : de 35 à 65/70 cm

7.5YR5/8 (strong brown) à 7.5YR5/6 (strong brown). Humide. Texture **ALs** avec sables fins. Structure polyédrique subanguleuse 20 mm forte, à sous-structure grumeleuse 2 mm faible. Racines fines et moyennes très peu nombreuses. Eléments grossiers 20%, aplatis anguleux, graviers, cailloux de micas, 1 à 4 cm / 10%, arrondis, graviers, cailloux, pierres de Q (plus difficile à casser) translucide. Transition 2 cm, ondulée, contraste modéré

Horizon 5 : de 65/70 à 90/100 cm

5YR5/6 (yellowish red). Humide à très humide. Texture **ALs** avec sables fins. Structure polyédrique subanguleuse 20 mm modérée, à sous-structure micro-agrégée 1 mm faible. Racines fines et moyennes très peu nombreuses. Eléments grossiers 30%, graviers, aplatis anguleux, lithoreliques peu oxydées avec minéraux de Q (jusqu'à 3 mm) [Faciès 3₂] / 10%, aplatis, paillettes de micas, 5 mm. Transition 1 cm, contraste modéré

Horizon 6 : de 90/100 à 100/110 cm

5YR5/8 (yellowish red) à 5YR5/6 (yellowish red). Humide à frais. Texture **AL** avec sables fins. Structure polyédrique subanguleuse 10 mm faible, à sur-structure massive 80 mm faible et à sous-structure micro-agrégée 1 mm faible. Racines fines très peu nombreuses à absentes. Eléments grossiers absents. Transition 5 cm, irrégulière

Horizon 7 : de 100/110 à 200 cm

5YR5/6 (yellowish red) à 2.5YR5/6 (red). Humide à frais. Texture **AS**. Structure polyédrique subanguleuse 20 mm modérée, à sur-structure massive 80 mm faible et à sous-structure micro-agrégée 1 mm faible. Racines absentes. Eléments grossiers 20%, arrondis, graviers et cailloux, Q carié, orange et rouge

Prélèvements (à +/- 5cm) :



Lithorelique [Faciès 3₁] : ferruginisées, violettes
avec grains de Quartz

Prélèvements (à +/- 5 cm) :

1. 0-5 cm
2. 10 cm
3. 25 cm
4. 50 cm
5. 75 cm
6. 90 cm
7. 130 et 170 cm

Profil : F5

Autre nom : Paracou Fosse 5 (Soucémarianadin 2004), Paracou5 (Desprez et al. 2010)

Localisation : Toposéquence II_1, à proximité de la parcelle 15

Coordonnées : WGS84, UTM 22N : x = 286255 m E ; y = 583670 m

Altitude : **A préciser**

Végétation : Forêt

Géologie : Série de Bonidoro (Barruol 1959) : représentée essentiellement par des schistes et plus rarement par des quartzites, amphibolites et migmatites.

Pluviosité : **A compléter**

Topographie : Mi-versant d'une colline, 50 m du sommet, pente à préciser (Malherbe 2002)

Présence d'une occupation amérindienne ancienne : A préciser

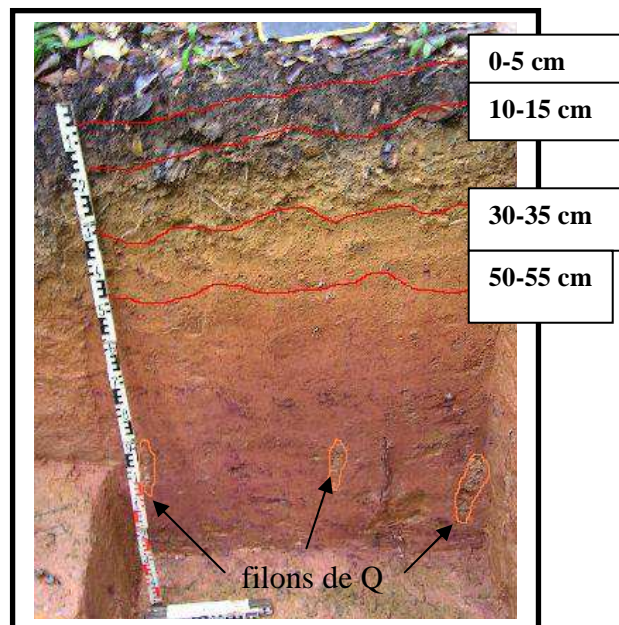
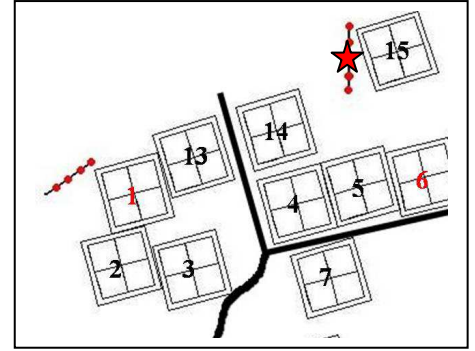
Ouverture de la fosse : 16 avril 2004 (Stage L. Soucémarianadin)

Description de la fosse : 6 mai 2004 (L. Soucémarianadin), pluie la veille ; fosse remplie de 85 cm d'eau

Profondeur de la fosse : 150 cm

Type de drainage : drainage latéral superficiel (DLS)

Rattachement au WRB (2014) : Proposition : Acrisol



Horizon 1 : de 0 à 5 cm

7.5YR4/2 (brown). Humide. Texture **SA** avec sables moyens. Structure grumeleuse 2 mm nette, à sur-structure polyédrique subanguleuse 20 mm nette. Racines très fines et fines très nombreuses (**mat racinaire**) / moyennes peu nombreuses. Eléments grossiers absents. Transition ondulée en 2 cm.

Horizon 2 : de 5 à 10/15 cm

7.5YR4/3 (brown) à 10YR4/3 (brown). (Humide à) très humide. Texture **SA** avec sables grossiers. Structure polyédrique subanguleuse 30 mm nette, à sous-structure grumeleuse 2 mm nette. Racines très fines et fines très nombreuses / moyennes et grosses nombreuses. Eléments grossiers absents. Transition ondulée en 2 cm.

Horizon 3 : de 10/15 cm à 30/35 cm (**Horizon gravillonaire**)

10YR6/6 (brownish yellow) à 10YR5/6 (yellowish brown). Humide à très humide. Texture **AS** avec sables moyens. Structure polyédrique subanguleuse 20 mm nette, à sous-structure grumeleuse 2 mm nette. Racines fines et très fines nombreuses / moyennes peu nombreuses / grosses très peu nombreuses. **Eléments grossiers** 40%, arrondis et aplatis anguleux émoussés, graviers, cailloux de lithoreliques [Faciès 5₁], [Faciès 5₂], [Faciès 5₃]. Transition ondulée en 3 cm.

Horizon 4 : de 30/35 à 50/55 cm

7.5YR6/6 (reddish yellow) à 7.5YR5/8 (strong brown). Humide. Texture **AS** avec sables moyens. Structure polyédrique subanguleuse 20 mm nette, à sur-structure polyédrique subanguleuse 50 mm peu nette et à sous-structure grumeleuse 2 mm nette. Racines fines et moyennes peu nombreuses. Eléments grossiers 2%, arrondis, graviers de lithoreliques [Faciès 5₁] / 5%, aplatis, cailloux de **lithoreliques** [Faciès 5₄], violettes, + **friables**. Transition ondulée en 2 cm.

Horizon 5 : de 50/55 à 150 cm

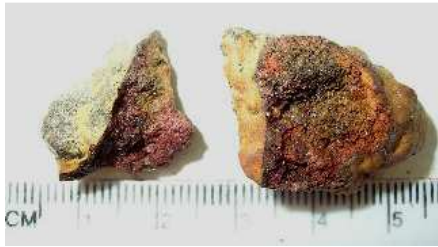
[partie >] 2.5YR5/8 (red) / [partie <] 2.5YR4/6 (red). Taches 5%, dans la matrice, régulières, arrondies, saprolite complètement dégradée, même couleur que lithorelique [Faciès 5₄]. Frais. Texture **Ls** avec sables fins. Structure massive très nette à sous-structure polyédrique subanguleuse 30 mm nette. Racines fines, moyennes et grosses très peu nombreuses. Eléments grossiers **filons de Q verticaux** : arrondis, graviers de Q carié, translucide à orange / 2%, arrondis, cailloux de lithoreliques [Faciès 5₄]



Lithorelique [Faciès 5₁] : ferruginisée, gréseuse, violette très sombre



Lithorelique [Faciès 5₂] : ferruginisée, gréseuse, violette sombre, paillettes de micas, 1 mm



Lithorelique [Faciès 5₃] : ferruginisée, gréseuse, violette et rouge, paillettes de micas, 1 mm



Lithorelique [Faciès 5₄] : ferruginisée, violette claire, paillettes de micas, 1 mm, + friable

Prélèvements (à +/- 5 cm) :

- 8. 0-5 cm
- 9. 10 cm
- 10. 25 cm
- 11. 45 cm
- 12. 65 cm et 130 cm

Profil		Paracou5	Paracou5	Paracou5	Paracou5	Paracou5	Paracou5
N° échantillon_labo		04S116-30	04S116-31	04S116-32	04S116-33	04S116-34	04S116-35
Horizon		1	2	3	4	5	5
Prof.	cm	0-5	10	25	45	65	130
Eléments grossiers	g/kg	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Granulométrie							
A	g/kg	147	132	209	273	319	173
LF	g/kg	45	34	43	58	151	207
LG	g/kg	42	31	36	35	44	63
SF	g/kg	371	325	305	286	186	160
SG	g/kg	395	478	406	347	300	396
pH							
pH eau		4,2	5,0	4,8	5,0	5,0	5,2
pH KCl		3,6	3,9	4,3	4,4	4,5	4,3
ΔpH		-0,6	-1,1	-0,5	-0,6	-0,6	-0,9
Matière organique							
C	g/kg	24,4	18,7	8,0	4,1	2,5	1,1
N	g/kg	1,6	1,3	0,6	0,3	0,1	0,1
C:N		15	15	14	15	17	20
Phosphore Bray2	mg/kg	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Bases échangeables							
Ca éch	cmolc kg-1	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Mg éch	cmolc kg-1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
K éch	cmolc kg-1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Na éch	cmolc kg-1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S	cmolc kg-1	0,6	0,6	0,2	0,1	0,1	0,1
CEC	cmolc kg-1	6,7	5,3	4,2	3,6	4,2	3,3
CEC / kg argile	cmolc kg-1 argile	45,9	40,0	20,0	13,0	13,0	19,1
TS	%	8	11	4	4	3	4
Acidité d'échange, KCl							
Al éch	cmolc kg-1	1,3	1,0	0,9	0,6	0,6	0,9
H éch	cmolc kg-1	0,6	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0
ECEC	cmolc kg-1	1,8	1,6	1,1	0,8	0,7	1,0
ECEC / kg d'argile	cmolc kg-1 argile	12,3	11,9	5,1	2,8	2,2	5,7
Formes du Fe, Al et Si							
Fed	g/kg	7,4	12,4	17,9	28,5	42,8	34,7
Ald	g/kg	1,4	2,0	3,3	4,5	4,4	2,8
Sid	g/kg	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Feo	g/kg	2,0	2,2	3,8	1,6	0,8	0,3

Alo	g/kg	0,8	0,9	1,5	1,2	0,9	0,9
Sio	g/kg	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Fep	g/kg	2,5	3,1	7,6	5,8	1,0	0,1
Alp	g/kg	1,0	1,4	3,3	2,2	0,7	0,4
Sip	g/kg	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Feo:Fed		0,28	0,18	0,21	0,06	0,02	0,01
Fep:Feo		1,24	1,41	2,02	3,54	1,33	0,22
Alp:Alo		1,34	1,55	2,17	1,91	0,74	0,49
Alo+1/2Feo	g/kg	1,78	2,00	3,38	1,97	1,29	1,03
Recherche hz argic							
S	%	77	80	71	63	49	56
A	%	15	13	21	27	32	17
A(hz) - A(hz sup)	%		-1,5	7,7	6,4	4,6	-14,6
A(hz):A(hz sup)			0,90	1,58	1,31	1,17	0,54
Recherche hz ferralic							
A dispersable à l'eau	%	NA	NA	10,2	NA	NA	NA

Rattachement au WRB (2014)

- Granulométrie : sandy loam (77% sables, 15% argile) dans l'horizon de surface → sandy clay loam (49% sables, 32% argile) dans les horizons intermédiaires → sandy loam (56% sables, 17% argile, 27% limons) dans l'horizon de profondeur.
- Assez bonne correspondance entre la texture perçue sur le terrain et la granulométrie
- Les horizons 1 et 2 satisfont certains des critères d'un horizon pretic (couleur, $C \geq 1\%$, $Ca + Mg \text{ éch} \geq 2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) mais ne satisfont pas le critère $TS \geq 50\%$ et charbons de bois $\geq 1\%$. On ne sait pas s'ils satisfont le critère P-Mellich-1 $\geq 30 \text{ ppm}$ (analyse non réalisée).
- L'horizon 3 a les caractéristiques d'un horizon argique (% argile $> 1,4$ % argile de l'horizon supérieur).
- L'horizon 3 a une forte proportion d'éléments grossiers (40% en volume) → **qualifier à donner : lequel ?**

Proposition : Acrisol

Profil : F6

Autre nom : Paracou Fosse 6 (Soucémarianadin 2004), Paracou6 (Desprez et al. 2010)

Localisation : Toposéquence II_1, à proximité de la parcelle 15

Coordonnées : WGS84, UTM 22N : x = 286270 m E ; y = 583655 m

Altitude : **A préciser**

Végétation : Forêt

Géologie : Série de Bonidoro (Barruol 1959) : représentée essentiellement par des schistes et plus rarement par des quartzites, amphibolites et migmatites.

Pluviosité : **A compléter**

Topographie : bas de versant d'une colline, 70 m du sommet,

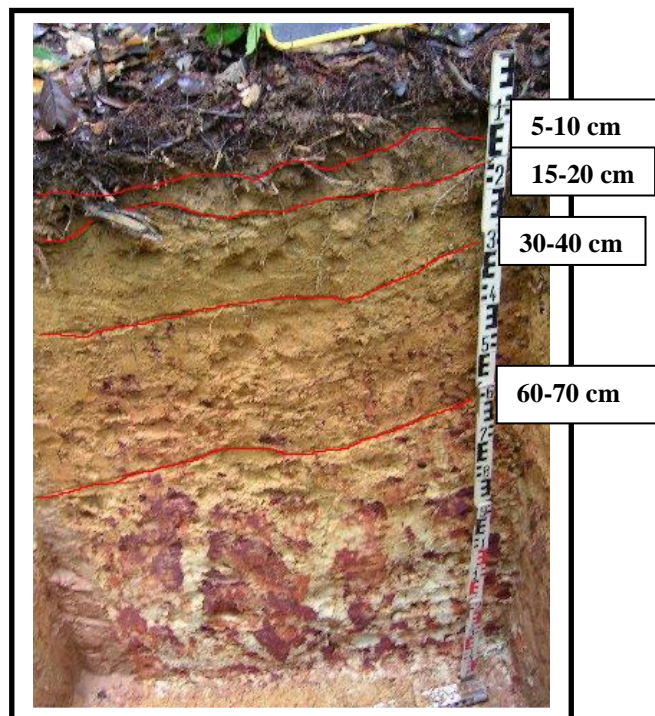
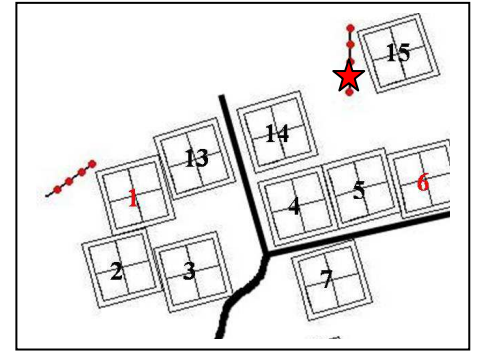
Ouverture de la fosse : 16 avril 2004 (Stage L. Soucémarianadin)

Description de la fosse : 10 mai 2004 (pluie la veille) ; fosse remplie de 80 cm d'eau

Profondeur de la fosse : 150 cm

Type de drainage : système aval (DhS)

Rattachement au WRB (2014) : Proposition : Ferric Acrisol (Loamic)



Horizon 1 : de 0 à 5/10 cm

10YR3/3 (dark brown). Humide à très humide. Texture **AS** avec sables moyens. Structure grumeleuse 2 mm nette. Racines très fines et fines très nombreuses (**mat racinaire**) / racines moyennes et grosses nombreuses. Éléments grossiers absents. Transition 1 cm, ondulée, contraste modéré

Horizon 2 : de 5/10 à 15/20 cm

10YR4/4 (dark yellowish brown). Humide. Texture **SA** avec sables grossiers. Structure polyédrique subanguleuse 40 mm nette, à sous-structure polyédrique subanguleuse 10 mm nette. Racines fines et moyennes nombreuses / grosses peu nombreuses. Éléments grossiers absents. Transition 3 cm, ondulée, contraste faible

Horizon 3 : de 15/20 à 30/40 cm

10YR5/8 (yellowish brown). (Humide à) frais. Texture **SA** avec sables fins. Structure polyédrique subanguleuse 20 mm, à sur-structure polyédrique subanguleuse 50 mm nette et à sous-structure grumeleuse 2 mm faible. Racines fines et moyennes peu nombreuses. Éléments grossiers 2%, arrondis, cailloux de Q translucide / 10%, arrondis, graviers, cailloux de lithoreliques ferruginisées gréseuses violettes très sombres [Faciès 6₁] et violettes avec centre rouge [Faciès 6₂]. Transition 2 cm, ondulée, contraste faible

Horizon 4 : de 30/40 à 60/70 cm **Horizon gravillonnaire**

7.5YR6/8 (reddish yellow). Taches : 10R4/8 (red), 10%, dans la matrice, autour des lithoreliques. Frais. Texture **Lsa** avec sables fins. Structure polyédrique subanguleuse 30 mm nette, à sous-structure grumeleuse 2 mm nette. Racines fines et moyennes très peu nombreuses. **Éléments grossiers** 5%, arrondis, graviers de Q translucide / 5%, arrondis et aplatis, cailloux de lithoreliques ferruginisées gréseuses violettes [Faciès 6₃] / 15% arrondis, pierres de saprolite très friable, rouge-violet. Transition 3 cm, ondulée, contraste modéré

Horizon 5 : de 60/70 à 150 cm **2 phases**

matrice jaune 10YR3/4 (dark yellowish brown) / matrice blanche 2.5Y8/3 (pale yellow). Tache orange foncé 10R4/8 (red) et rouge 7.5R3/4 (dusky red). Frais à sec. Texture **L**. Structure massive, à sous-structure polyédrique subanguleuse 20 mm nette. Racines absentes. Éléments grossiers 5%, arrondis, graviers de Q translucide (bas du profil) / 30%, arrondis, cailloux pierres de lithoreliques [Faciès 6₃], répartition irrégulière (centre et bas du profil)



Lithorelique [Faciès 6₁] : ferruginisée, violette, très sombre



Lithorelique [Faciès 6₂] : ferruginisée, violette, centre rouge



Lithorelique [Faciès 6₃] : ferruginisée,



Saprofite très friable, rouge violet

Prélèvements (à +/- 5 cm)

1. 0-5 cm
2. 15 cm
3. 30 cm
4. 55 cm
5. 85 cm (phase "jaune") 130 cm (phase blanche)
6. 95-120 cm (saprofite)

Profil	Paracou6							
N° échantillon_labo		04S116-36	04S116-37	04S116-38	04S116-39	04S116-40	04S116-41	04S116-42
Horizon		1	2	3	4	5jaune	5blanc	5sapro
Prof.	cm	0-5	15	30	55	85	130	95-120
Eléments grossiers	g/kg	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Granulométrie								
A	g/kg	126	117	170	313	286	199	162
LF	g/kg	34	36	33	150	229	256	225
LG	g/kg	29	34	33	43	47	47	81
SF	g/kg	318	368	310	226	185	172	186
SG	g/kg	493	445	453	268	253	326	346
pH								
pH eau		4,8	4,8	5,2	5,0	5,0	4,8	4,9
pH KCl		3,7	4,1	4,3	4,2	4,1	4,0	4,2
ΔpH		-1,1	-0,7	-1,0	-0,8	-0,9	-0,8	-0,7
Matière organique								
Perte au feu 480°	%	7,9	4,0	4,0	6,9	7,9	7,5	7,3
C	g/kg	29,6	9,0	4,4	4,4	2,3	1,1	1,6
N	g/kg	1,9	0,7	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1
C:N		16	13	14	16	14	16	26
Phosphore Bray2	mg/kg	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Bases échangeables								
Ca éch	cmolc kg-1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Mg éch	cmolc kg-1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
K éch	cmolc kg-1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Na éch	cmolc kg-1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S	cmolc kg-1	0,9	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
CEC	cmolc kg-1	6,0	2,6	3,2	4,2	4,0	3,3	2,9
CECargile	cmolc kg-1 argile	47,9	22,1	18,7	13,5	14,1	16,7	18,1
TS	%	15	7	4	3	2	4	7
Acidité d'échange, KCl								
Al éch	cmolc kg-1	1,0	0,9	0,7	0,7	1,4	1,4	1,0
H éch	cmolc kg-1	0,5	0,2	0,0	0,0	0,3	0,4	0,3
ECEC	cmolc kg-1	1,9	1,0	0,8	0,8	1,5	1,5	1,2
ECECargile	cmolc kg-1 argile	14,7	9,0	4,6	2,7	5,2	7,7	7,1
Formes du Fe, Al et Si								
Fed	g/kg	8,0	10,5	16,7	33,2	15,4	4,8	44,6
Ald	g/kg	1,5	1,9	2,5	4,2	2,5	1,1	3,0
Sid	g/kg	#N/A	#N/A	###	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A

Feo	g/kg	2,2	3,2	2,4	1,5	0,5	0,2	0,9
Alo	g/kg	0,8	1,1	0,9	1,1	1,0	0,9	1,3
Sio	g/kg	#N/A	#N/A	###	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Fep	g/kg	2,5	4,2	4,2	2,8	0,3	0,1	0,1
Alp	g/kg	1,0	1,8	1,7	1,1	0,5	0,5	0,6
Sip	g/kg	#N/A	#N/A	###	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Feo:Fed		0,28	0,31	0,14	0,04	0,03	0,04	0,02
Fep:Feo		1,13	1,31	1,78	1,89	0,51	0,76	0,16
Alp:Alo		1,20	1,64	1,88	0,94	0,51	0,52	0,45
Alo+1/2Feo	g/kg	1,91	2,72	2,08	1,87	1,28	1,01	1,74
Recherche hz argic								
S	%	81	81	76	49	44	50	53
A	%	13	12	17	31	29	20	16
A(hz) - A(hz sup)	%		-0,9	5,3	14,3	-2,7	-8,7	-3,7
A(hz):A(hz sup)			0,93	1,45	1,84	0,91	0,70	0,81
Recherche hz ferralic								
A dispersable à l'eau		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Recherche propriété Géric								
ΔpH		-1,1	-0,7	-1,0	-0,8	-0,9	-0,8	-0,7
ECECclay	cmolc kg-1 clay	14,7	9,0	4,6	2,7	5,2	7,7	7,1

Rattachement au WRB (2014)

- Granulométrie : sandy loam (81% sables, 13% argile) dans l'horizon de surface → sandy clay loam (49% sables, 31% argile, 20% limons) dans les horizons intermédiaires → clay loam (44% sables, 29% argile, 27% limons) à loam (50% sables, 20% argile, 30% limons) dans l'horizon de profondeur.
- Bonne correspondance entre la texture perçue sur le terrain et la granulométrie
- L'horizon 4 (< 100 cm) a les critères d'un horizon argique (argile > argile de l'horizon supérieur). Cet horizon argic, associé à sa valeur de CECclay (< 24 cmolc kg-1 clay) → Acrisol
- L'horizon 5 (qui démarre < 100 cm) a les critères d'un horizon ferric (≥ 15% est occupé par taches plus rouges que 7.5YR et chroma ≥ 5) → horizon ferric
- Classe de texture sandy loam, sandy clay loam, clay loam ou loam → qualifier loamic

Proposition : Ferric Acrisol (Loamic)

Profil : F7

Autre nom : Paracou Fosse 7 (Soucémariadin 2004), Paracou7 (Desprez et al. 2010)

Localisation : Toposéquence II_1, à proximité de la parcelle 15

Coordonnées : WGS84, UTM 22N : x = 286265 m E ; y = 583635 m

Altitude : **A préciser**

Végétation : Forêt

Géologie : Série de Bonidoro (Barruol 1959) : représentée essentiellement par des schistes et plus rarement par des quartzites, amphibolites et migmatites.

Pluviosité : **A compléter**

Topographie : bas-fond, 90 m du sommet

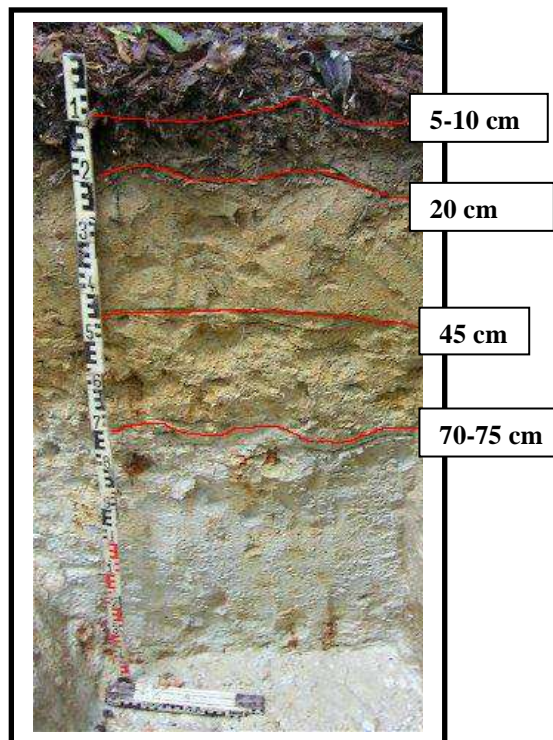
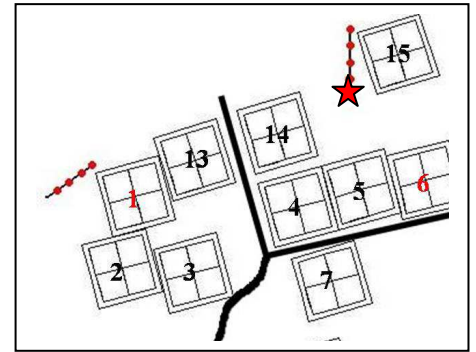
Ouverture de la fosse : 19 avril 2004 (Stage L. Soucémariadin)

Description de la fosse : 10 mai 2004 (pluie la veille) ; fosse remplie de 120 cm d'eau

Profondeur de la fosse : 150 cm

Type de drainage : système hydromorphe (SH)

Rattachement au WRB (2014) : Proposition : Gleysol (Acric). **A valider par distribution des taches dans l'horizon 3 et conditions réductrices des horizons 4 et 5.**



Horizons 1 : de 0 à 5/10 cm

7.5YR3/2 (dark brown) à 10YR3/2 (very dark grayish brown). Très très humide. Texture **Sa** avec sables grossiers. Structure grumeleuse 2 mm nette. Racines très fines et fines très nombreuses (**mat racinaire**) / moyennes et grosses nombreuses. Eléments grossiers absents. Transition 2 cm, ondulée, contraste faible

Horizon 2 : de 5/10 à 20 cm

2.5Y4/4 (olive brown). Taches 10YR3/6 (dark yellowish brown) 3%, dans la matrice, 1-2 mm, contraste faible. Très humide. Texture **Sa** avec sables grossiers. Structure polyédrique subanguleuse 30-40 mm très nette, à sous-structure grumeleuse 2 mm nette. Racines fines nombreuses / très fines et moyennes peu nombreuses. Eléments grossiers absents. Transition 2 cm, ondulée, contraste modéré

Horizon 3 : de 20 à 45 cm

2.5Y6/3 (light yellowish brown). **Taches** : 10YR5/8 (yellowish brown), 40% dans la matrice, répartition homogène, 1-2 cm. Humide à frais. Texture **S** avec sables grossiers. Structure massive nette, à sous-structure polyédrique subanguleuse 15 mm nette. Racines fines et moyennes très peu nombreuses. Eléments grossiers 2%, aplatis anguleux émoussés, cailloux de lithoreliques ferruginisées gréseuses rouge et violet [Faciès 7₁]. Transition 3 cm, ondulée, contraste faible

Horizon 4 : de 45 à 70/75 cm] **Horizon gravillonnaire**

2.5Y6/3 (light yellowish brown). **Taches** : 10YR5/8 (yellowish brown), 50%, dans la matrice, autour des éléments grossiers, 1-5 cm, contraste fort. Humide. Texture **Sa** avec sables fins. Structure massive nette, à sous-structure polyédrique subanguleuse 20 mm nette. Racines fines et moyennes très peu nombreuses. **Eléments grossiers** 10% arrondis, graviers de Q / 10% aplatis, cailloux et pierres de lithoreliques ferruginisées jaune et rouge [Faciès 7₂] / 20%, arrondis, graviers et cailloux de Q carié ferruginisé / 10%, arrondis, cailloux et pierres de lithoreliques ferruginisées rouge avec grains de Q de 0,5 à 1,5 mm [Faciès 7₃]. Transition 3 cm, contraste modéré

Horizon 5 : de 70/75 à 150 cm

matrice jaune 10Y8/1 (white). Taches 10YR6/6 (brownish yellow), 15% autour des lithoreliques . Humide à frais. Texture **Lsa** avec sables grossiers. Structure massive très nette. Racines fines très peu nombreuses à absentes. Eléments grossiers 20%, arrondis, graviers de Q translucide et rouge / 2%, aplatis anguleux, paillettes de micas < 1 mm / 7%, aplatis anguleux émoussés, cailloux et pierres de Q translucide avec début de ferruginisation / 10%, pierres de lithoreliques ferruginisées gréseuses orange et rouge [Faciès 7₄].



Lithorelique [Faciès 7₁] : ferruginisée, gréseuse, rouge et violet



Lithorelique [Faciès 7₂] : ferruginisée, jaune et rouge



Lithorelique [Faciès 7₃] : ferruginisée, rouge avec grains de Q de 0,5 à 1,5 mm



Lithorelique [Faciès 7₄] : ferruginisée, gréseuses, orange et rouge

Prélèvements (à +/- 5 cm)

1. 0-5 cm
2. 15 cm
3. 30 cm
4. 60 cm
5. 100 cm

Profil	Paracou7					
N° échantillon_labo		04S116-43	04S116-44	04S116-45	04S116-46	04S116-47
Horizon		1	2	3	4	5
Prof.	cm	0-5	15	30	60	100
Eléments grossiers	g/kg	NA	NA	NA	NA	NA
Granulométrie						
A	g/kg	106	95	121	174	116
LF	g/kg	21	31	43	98	153
LG	g/kg	29	23	28	45	59
SF	g/kg	339	369	343	240	159
SG	g/kg	505	483	466	441	512
pH						
pH eau		4,8	4,9	5,0	4,9	4,8
pH KCl		3,8	4,2	4,3	4,2	4,1
ΔpH		-1,0	-0,7	-0,6	-0,8	-0,8
Matière organique						
Perte au feu 480°	%	7,8	3,2	2,5	4,2	4,7
C	g/kg	30,0	1,8	2,7	2,5	0,8
N	g/kg	2,1	0,1	0,2	0,2	0,1
C:N		14	14	12	15	14
Phosphore Bray2	mg/kg	NA	NA	NA	NA	NA
Bases échangeables						
Ca éch	cmolc kg-1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Mg éch	cmolc kg-1	0,6	0,1	0,0	0,1	0,1
K éch	cmolc kg-1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Na éch	cmolc kg-1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
S	cmolc kg-1	1,2	0,2	0,1	0,1	0,1
CEC	cmolc kg-1	2,6	3,2	2,8	8,0	6,8
CECargile	cmolc kg-1 argile	24,7	33,6	23,3	46,1	59,0
TS	%	44	6	3	1	2
Acidité d'échange, KCl						
Al éch	cmolc kg-1	0,7	0,9	0,7	1,0	1,3
H éch	cmolc kg-1	0,3	0,0	0,1	0,3	0,4
ECEC	cmolc kg-1	1,9	1,1	0,8	1,1	1,4
ECECargile	cmolc kg-1 argile	17,6	11,3	6,2	6,1	12,0
Formes du Fe, Al et Si						
Fed	g/kg	3,4	3,3	4,1	6,7	0,8
Ald	g/kg	1,0	1,0	1,0	1,6	0,6
Sid	g/kg	#N/A	####	#N/A	#N/A	#N/A

Feo	g/kg	1,5	1,3	1,3	0,6	0,2
Alo	g/kg	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9
Sio	g/kg	#N/A	####	#N/A	#N/A	#N/A
Fep	g/kg	1,5	1,5	1,3	0,6	0,1
Alp	g/kg	0,9	1,0	0,9	0,6	0,4
Sip	g/kg	#N/A	####	#N/A	#N/A	#N/A
Feo:Fed		0,43	0,41	0,33	0,09	0,26
Fep:Feo		1,02	1,10	0,98	1,03	0,24
Alp:Alo		1,05	1,16	1,14	0,75	0,49
Alo+1/2Feo	g/kg	1,59	1,50	1,46	1,13	0,96
Recherche hz argic						
S	%	84	85	81	68	67
A	%	11	10	12	17	12
A(hz) - A(hz sup)	%		-1,1	2,6	5,3	-5,8
A(hz):A(hz sup)			0,90	1,27	1,44	0,67
Recherche hz ferralic						
A dispersable à l'eau		NA	NA	NA	NA	NA
Recherche propriété Géric						
ΔpH		-1,0	-0,7	-0,6	-0,8	-0,8
ECECclay	cmolc kg-1 clay	17,6	11,3	6,2	6,1	12,0

Rattachement au WRB (2014)

- Granulométrie : loamy sand (84% sables, 11% argile) dans l'horizon de surface → sandy loam (67% sables, 12% argile, 20% limons) dans l'horizon de profondeur.
- Assez bonne correspondance entre la texture perçue sur le terrain et la granulométrie
- L'horizon 3 possède probablement des propriétés gleyic. En effet, il possède 40% (> 5%) de taches de couleur « oxymorphic », même si nous avons validé ce caractère par seulement leur couleur (10YR5/8 → Hue ≥ 2.5 unités plus rouge et chroma ≥ 1 unité que la matrice environnante de couleur 2.5Y6/3) et non pas aussi par leur distribution (dans la matrice alors que le caractère « oxymorphic » nécessite des taches distribuées à la surface des agrégats). **Une vérification terrain devrait permettre de trancher.** Si nous confirmons les propriétés gleyic de l'horizon 3, ses autres caractéristiques (démarre ≤ 40 cm de la surface, épaisseur ≥ 25 cm, **conditions réductrices dans des parties de chaque « sublayer »** : **Aussi à valider sur le terrain**), conduiront à rattacher le profil à un Gleysol.
- L'horizon 4 (< 100 cm) a les critères d'un horizon argique (% argile > 1,4 % argile de l'horizon supérieur) → qualifier acric retenu

Proposition : Gleysol (Acric). **A valider par distribution des taches dans l'horizon 3 et conditions réductrices des horizons 4 et 5.**

Annexe 3 – Caractéristiques des sondages tarières des 9 parcelles de Imbalance-P

Humidité : S=Sec, F=Frais, H=Humide, TH=Très Humide

Texture : A=Argileuse, L=limoneuse, S=Sableuse, grav=graveleux

Éléments grossiers (EG) : 0=Absence

Racines : 0=Absence ; 1=Présence

Sondage	Profondeur	Humidité	Texture	Couleur	Taches	EG	Racines
T1	0-10	F	S	10YR5/4	0	0	1
T1	10-20	H	SA	10YR5/4	0	0	1
T1	20-40	H	SA	10YR4/6	0	Litho	1
T1	40-60	H	AS grav	10YR5/6	Noir (racines)	Litho	1
T1	60-80	H	AS grav	5YR5/6	2.5YR4/8	Litho, quartz	1
T1	80-100	F à H	ASI	2.5YR4/8	Rouge	0	1
T1	100-120	F	ASI	2.5YR4/8	0	0	0

Synthèse : Profil avec variation progressive de la texture. Accumulation d'argile à 40-60 cm. Abondance de lithoreliques à 40-80 cm. Toucher limoneux légèrement perceptible à partir de 80 cm.
Classe de drainage : Alt (Drainage vertical ralenti).

T2	0-10	H	SA	10YR4/6	0	0	1
T2	10-20	H	SA	10YR5/6	Rouge	0	1
T2	20-40	H	AS	5YR5/6	Rouge-Jaune	0	1
T2	40-60	F	LAS	2.5YR4/8	Rouge	0	1
T2	60-80	F à S	Las	2.5YR4/6	0	0	1
T2	80-100	F à S	Las	2.5YR4/6	0	0	1
T2	100-120	F à S	LSa	2.5YR4/6	2.5YR3/6 et 10YR7/6	0	1

Synthèse : Profil avec variation rapide de la texture. Accumulation d'argile à 20-40 cm. Toucher limoneux et davantage sec trouvé dès 60 cm. Taches proches de la surface, illustrant la présence d'une nappe perchée qui est certainement liée à la présence de djoungoung pétés.
Classe de drainage : UhS (Système hydromorphe amont)

T3	0-10	H	SA	10YR4/4	0	0	1
T3	10-20	H	SA	10YR5/6	0	0	1
T3	20-40	H	SA	5YR5/6	Orange	Litho	0
T3	40-60	F	AS	2.5YR4/8	Rouge	0	1
T3	60-80	F	Ls	2.5YR4/6	0	0	1
T3	80-100	S	Ls	2.5YR4/4	0	0	1
T3	100-120	S	Ls	2.5YR4/4	Rouge	0	0

Synthèse : Profil avec variation rapide de la texture et de la couleur. Accumulation d'argile à 40-60 cm. Toucher limoneux et sec trouvé dès 80 cm. Taches à mi-profondeur et en profondeur a priori provenant de l'altération des lithoreliques.
Classe de drainage : SLD (Drainage latéral superficiel)

S1	0-10	F	SA	7.5YR5/3	0	0	1
S1	10-20	F	AS	7.5YR5/8	0	0	1
S1	20-40	F	AS	7.5YR5/8	0	Quartz et litho	1
S1	40-60	H	As	5YR5/8	0	Quartz et litho	1
S1	60-80	F	LAS	5YR5/8	0	0	0
S1	80-100	F	LSA	5YR5/8	Rouge-Jaune	Quartz	1
S1	100-120	F à S	LS	5YR5/8	Rouge-Jaune	0	0
Synthèse : Profil avec variation rapide de la texture. Accumulation d'argile à 40-60 cm. Toucher limoneux trouvé dès 60 cm et davantage sec à 100 cm. Taches en profondeur a priori provenant de l'altération des lithoreliques. Classe de drainage : SLD (Drainage latéral superficiel)							

S2	0-10	H	SA	10YR4/6	0	0	1
S2	10-20	H	SA	10YR5/6	0	Quartz Fer	1
S2	20-40	H	AS	7.5YR5/8	0	Quartz, mica, feldsp ?	1
S2	40-60	H	ALS	5YR5/8	0	0	0
S2	60-80	F	LAS	5YR5/8	0	Quartz, mica	1
S2	80-100	F à S	LS	5YR5/8	Jaune-Rouge	Quartz	0
S2	100-120	F à S	SL	5YR5/8	Rouge	Quartz, mica	0
Synthèse : Profil avec variation rapide de la texture. Accumulation d'argile à 20-40 cm. Toucher limoneux trouvé dès 60 cm et davantage sec à 80 cm. Taches en profondeur. Quartz et mica suggèrent un filon de pegmatite. Classe de drainage : SLD (Drainage latéral superficiel)							

S3	0-10	F	SA	7.5YR4/6	0	0	1
S3	10-20	F	SA	7.5YR4/6	0	0	1
S3	20-40	H	AS	5YR5/6	0	Mica, litho	1
S3	40-60	H	AS	5YR5/6	0	Quartz, litho	1
S3	60-80	H	As	5YR5/6	0	Quartz, mica, litho	1
S3	80-100	F	AL	2.5YR4/8	0	0	1
S3	100-120	F à S	LA	2.5YR4/8	Jaune	0	1
Synthèse : Profil avec variation rapide de la texture. Accumulation d'argile à 60-80 cm. Toucher limoneux et davantage sec trouvé à 100 cm. Taches en profondeur. Quartz et mica suggèrent un filon de pegmatite. Classe de drainage : SLD (Drainage latéral superficiel)							

B1	0-10	H	AS	10YR4/3	0	0	1
B1	10-20	F	AS	10YR5/4	0	0	1
B1	20-40	H	SA	10YR5/4	7.5YR5/8	0	1
B1	40-60	H	SA	10YR6/6	Rouge	0	1
B1	60-80	TH	SAL	10YR5/8	Rouge	0	1
B1	80-100	TH	SL	10YR6/6	5YR5/8	0	0
B1	100-120	H	SL	10YR6/6	2.5YR5/8	0	1

Synthèse : Profil à texture majoritairement sableuse dès 20-40 cm. Couleur de la matrice uniquement 10YR, et taches rouges dès 20-40 cm. Très humide en profondeur. Eau trouvée à 100 cm.

Classe de drainage : DhS (Système hydromorphe aval)

B2	0-10	F	SA	10YR4/3	0	0	1
B2	10-20	H	SA	10YR5/4	0	0	1
B2	20-40	H	SA	10YR5/6	0	0	1
B2	40-60	H	AS	10YR6/8	0	0	0
B2	60-80	H	As	10YR6/8	Rouge	0	0
B2	80-100	H	ASL	10YR6/6	2.5YR5/8	0	1
B2	100-120	F	SL	10YR7/6	2.5YR4/8	Quartz	0

Synthèse : Profil à variation rapide de la texture. Accumulation d'argile à 60-80 cm. Couleur de la matrice uniquement 10YR, et taches rouges à partir de 60-80 cm.

Classe de drainage : DhS (Système hydromorphe aval)

B3	0-10	H	S	10YR4/3	0	0	1
B3	10-20	H	S	2.5Y5/4	0	0	1
B3	20-40	H	S	2.5Y6/6	Brunes	0	1
B3	40-60	H	SA	10YR6/6	0	0	1
B3	60-80	H	AS	2.5Y7/6	Orange	0	0
B3	80-100	TH	ASL	2.5Y7/4	Orange	0	0
B3	100-120	H	SL	2.5Y8/3	Orange	Quartz	0

Synthèse : Profil à texture sableuse en surface. Accumulation d'argile à 60-80 cm. Couleur de la matrice uniquement 10YR et 2.5Y. Taches oranges à partir de 60 cm. Humide à très humide.

Plancher de la nappe a priori vers 100 cm (lit de quartz, juste au-dessus : très humide)

Classe de drainage : SH (Hydromorphie de surface)

**Annexe 4 – Relevés GPS (WGS84, UTM 22N) et altitude (source SRTM, 30 m de résolution)
des profils Paracou3 à Paracou7 (Soucémarianadin 2004) et des sondages tarière associés aux
9 parcelles Imbalance-P**

Id_GPS	Site	Sondage Fosses	X (m)	Y (m)	Altitude (m)
Fosse3	Paracou	Paracou3	286225	583720	55
Fosse4	Paracou	Paracou4	286245	583705	55
Fosse5	Paracou	Paracou5	286255	583670	45
Fosse6	Paracou	Paracou6	286270	583655	38
Fosse7	Paracou	Paracou7	286265	583635	34
1	Paracou	B3	286190	584095	35
2	Paracou	B2	286315	583960	32
3	Paracou	B1	286235	583865	37
4	Paracou	S1	286160	583820	40
5	Paracou	S2	286140	583730	45
6	Paracou	S3	286025	583630	45
7	Paracou	T1	286615	583400	53
8	Paracou	T2	286500	583420	46
9	Paracou	T3	286580	583475	50